

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:
Prof.dr.sc. Zoran Lulić

Franjo Josipović
0035169448

U Zagrebu, rujan 2013.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno koristeći se vlastitim znanjem stečenim tijekom studiranja i navedenom literaturom.

U radu su mi pomagali savjetima i uputama mentor završnog rada prof.dr.sc. Zoran Lulić, doc.dr.sc. Darko Kozarac i dr.sc. Goran Šagi na čemu im se iskreno zahvaljujem.

Također se zahvaljujem i ostalim djelatnicima Katedre za motore i vozila na savjetima i pomoći u prikupljanju potrebnih podataka.

U Zagrebu, 13. rujna 2013.

Franjo Josipović



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Franjo Josipović**

Mat. br.: 0035169448

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Simulacija rada hibridnog minibusa u standardnim ciklusima vožnje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Simulation of Hybrid Minibus in Standard Driving Cycles**

Opis zadatka:

Zadatak ovog rada je proučiti računalno okruženje programskog paketa AVL Cruise koji se koristi pri razvoju i optimiranju vozila i njegovih komponenti. Upotrebom programa AVL Cruise ispituje se dinamika vozila pri određenim uvjetima vožnje, odnosno ciklusima vožnje.

U sklopu završnog rada treba:

- Dati pregled standardnih ciklusa vožnje. Opisati cikluse definirane unutar programskog paketa AVL Cruise.
- Proučiti mogućnosti programskog paketa AVL Cruise pri koncipiranju i optimiranju virtualnog vozila.
- Izraditi model minibusa s hibridnim pogonom.
- Odrediti energetske potrebe minibusa kao i emisije štetnih ispušnih plinova i CO₂ za standardne cikluse vožnje.

Podatke za definiranje vozila odabrati u dogovoru s mentorom.

Pri izradi se treba pridržavati pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

16. studenog 2012.

Rok predaje rada:

1. rok: 15. veljače 2013.

2. rok: 11. srpnja 2013.

3. rok: 13. rujna 2013.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27., 28. veljače i 1. ožujka 2013.

2. rok: 15., 16. i 17. srpnja 2013.

3. rok: 18., 19. i 20. rujna 2013.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Prof. dr. sc. Igor Balen

Sadržaj

IZJAVA	II
Sadržaj	III
Popis tablica.....	VI
Popis mjernih jedinica	VII
1. Uvod.....	1
2. Općenito o programskoj aplikaciji AVL-Cruise.....	2
2.1. Primjena aplikacije AVL-Cruise	2
2.2. Komponente za definiranje vozila.....	2
2.3. Kompatibilna sučelja	3
2.4. Proračunske mogućnosti.....	3
2.5. Modeli proračunavanja	4
2.6. Korisničko sučelje	5
3. Pokretanje projekta	6
3.1. Tijek rada.....	6
3.2. Izrada modela vozila.....	6
3.2.1. Vozilo	8
3.2.2. Motor s unutarnjim izgaranjem	8
3.2.3. Elektromotor.....	11
3.2.4. Generator	15
3.2.5. Baterija	17
3.2.6. Jednostupanjski osovinski prijenosnik	18
3.2.7. Diferencijal	18
3.2.8. Kotači	19
3.2.9. Kočnice.....	19
3.2.10. Monitor	20
3.2.11. Kabina vozila	20
3.2.12. ASC – Anti Slip Control.....	20
3.2.13. Planetarni mjenjač.....	21
3.2.14. MatLab Controller	21
3.3. Energetske poveznice	22

3.4. Informacijske poveznice.....	23
4. Zadavanje zadataka komponentama	25
4.1. Komponenta Course	26
4.2. Komponenta Driver	26
4.3. Proračunski zadatak Cycle Run.....	27
4.3.1. Opis ciklusa vožnje UDC	27
4.3.2. Opis ciklusa vožnje EUDC.....	28
4.3.3. Opis ciklusa vožnje NEDC.....	28
4.3.4. Opis ciklusa vožnje Artemis.....	29
4.3.5. Opis ciklusa vožnje FTP-75	30
4.3.6. Opis ciklusa vožnje US-SC03	31
4.3.7. Opis ciklusa vožnje Ja 10-15	31
4.3.8. Definiranje komponente Cycle Run	32
5. Rezultati	33
5.1. Rezultati za ciklus vožnje UDC_aut	33
5.2. Rezultati za ciklus vožnje US-SC03_aut.....	34
5.3. Rezultati za ciklus vožnje Ja 10-15_aut	35
5.4. Usporedba rezultata	36
6. Zaključak	38
7. Literatura.....	39

Popis slika

Slika 2.1. Prikaz korisničkog sučelja [1]	12
Slika 3.1. Dijagram vanjske karakteristike motora s unutarnjim izgaranjem [4]	17
Slika 3.2. Dijagram momenta i efikasnosti elektromotora [5]	19
Slika 3.3. Dijagram snage i efikasnosti elektromotora [5]	20
Slika 3.4. Dijagram snage i efikasnosti generatora [5]	23
Slika 3.5. Prikaz energetskih poveznica	29
Slika 3.6. Prikaz informacijskih poveznica MatLab Controllera s ostalim komponentama	30
Slika 4.1. NEDC ciklus vožnje: UDC ciklus vožnje (od 0 s do 195 s) s 4 ponavljanja i EUDC ciklus vožnje (od 780 s do 1180 s) [7]	35
Slika 4.2. Urban Artemis ciklus vožnje [7]	36
Slika 4.3. Rural Artemis ciklus vožnje [7]	36
Slika 4.4. Highway Artemis ciklus vožnje [7]	37
Slika 4.5. FTP-75 ciklus vožnje [7]	37
Slika 4.6. Us-SC03 ciklus vožnje [8]	38
Slika 4.7. Ja 10-15 ciklus vožnje [7]	38
Slika 5.1. Ciklus vožnje minibusa po profilu UDC_aut	40
Slika 5.2. Dijagram brzine vrtnje motora i potrošnje goriva za vrijeme vožnje minibusa po profilu UDC_aut	40
Slika 5.3. Ciklus vožnje minibusa po profilu US-SC03_aut	41
Slika 5.4. Dijagram brzine vrtnje motora i potrošnje goriva za vrijeme vožnje minibusa po profilu US-SC03	41
Slika 5.5. Ciklus vožnje minibusa po profilu Ja 10-15_aut	42
Slika 5.6. Dijagram brzine vrtnje motora i potrošnje goriva za vrijeme vožnje minibusa po profilu Ja 10-15_aut	42
Slika 5.7. Usporedba potrošnje goriva kod simulacije za 3 različita ciklusa vožnje	43
Slika 5.8. Usporedba emisije CO ₂ kod simulacije za 3 različita ciklusa vožnje	43
Slika 5.9. Usporedba potrošnje električne energije kod simulacije za 3 različita ciklusa vožnje	44

Popis tablica

Tablica 3.1. Popis komponenti sustava vozila.....	14
Tablica 3.2. Parametri za definiranje vozila	15
Tablica 3.3. Parametri za definiranje komponente motora.....	16
Tablica 3.4. Tablični prikaz vanjske karakteristike motora s unutarnjim izgaranjem....	17
Tablica 3.5. Parametri za definiranje komponente elektromotora.....	18
Tablica 3.6. Tablični prikaz vanjske karakteristike elektromotora	19
Tablica 3.7. Tablični prikaz efikasnosti elektromotora	21
Tablica 3.8. Parametri za definiranje komponente generatora	22
Tablica 3.9. Tablični prikaz vanjske karakteristike generatora	23
Tablica 3.10. Parametri za definiranje komponente baterija	24
Tablica 3.11. Tablični prikaz krivulje napona kod punjenja i pražnjenja baterije	25
Tablica 3.12. Parametri za definiranje komponente jednostupanjski prijenosnik.....	25
Tablica 3.13. Parametri za definiranje komponente diferencijalni prijenosnik.....	25
Tablica 3.14. Parametri za definiranje komponente kotač	26
Tablica 3.15. Parametri za definiranje komponente kočnica.....	26
Tablica 3.16. Poveznice monitora sa Data Bus-om.....	27
Tablica 3.17. Parametri za definiranje komponente kabina vozila.....	27
Tablica 3.18. Parametri za definiranje komponente planetarni mjenjač	28
Tablica 3.19. Poveznice MatLab Controllera sa Data Bus-om	28
Tablica 3.20. Informacijske veze Data Bus-a.....	30
Tablica 4.1. Definiranje komponente Course	33
Tablica 4.2. Definiranje komponente Driver	33
Tablica 4.3. Glavna obilježja ciklusa vožnje Artemis	36
Tablica 4.4. Parametri za definiranje proračunskog zadatka Cycle run	39

Popis mjernih jedinica

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
V	cm^3	Volumen
ϑ	$^{\circ}\text{C}$	Temperatura
T	-	Takt
n	1/min	Brzina vrtnje
I	kg m^2	Moment tromosti
H_d	kJ/kg	Ogrijevna vrijednost
P	kW	Snaga
p	Pa	Tlak
M	Nm	Moment
η	-	Stupanj korisnosti
F	N	Sila
r	m	Radijus
A	m^2	Površina
a	m/s^2	Ubrzanje
v	m/s	Brzina
s	m	Put
t	s	Vrijeme
U	V	Napon
i	-	Prijenosni omjer

1. Uvod

Programska aplikacija *AVL-Cruise* je softver koji se koristi za simulaciju dinamike vožnje, potrošnje goriva te emisije ispušnih plinova cestovnih vozila. Program se najčešće koristi kod razvoja motora i pogonskih sustava kako bi se optimirali sustavi osobnih vozila, kamiona, autobusa, električnih vozila i hibridnih vozila.

U ovom radu je *AVL-Cruise* korišten kako bi se odredila potrošnja te emisija CO₂ hibridnog minibusa u različitim standardnim ciklusima vožnje. Na početku rada je opisana programska aplikacija, njezine mogućnosti, način rada te je prikazano korisničko sučelje aplikacije. U idućim poglavljima opisan je način unosa podataka koji definiraju vozilo te način povezivanja odgovarajućih energetske i informacijske veze između odgovarajućih dijelova vozila. Nakon definiranja vozila i njegovih komponenti, zadani su standardni ciklusi vožnje u kojima je simulirana vožnja minibusa. Na kraju su prikazani rezultati dobiveni u različitim ciklusima vožnje te je prikazana njihova usporedba pomoću dijagrama.

2. Općenito o programskoj aplikaciji AVL-Cruise

2.1. Primjena aplikacije AVL-Cruise

AVL-Cruise se najčešće koristi kod razvoja pogonskog sklopa vozila i motora kako bi se proveo proračun i optimizacija sljedećih stvari:

- potrošnja goriva i emisija ispušnih plinova,
- vozne karakteristike,
- prijenosni omjeri,
- karakteristike kočenja.

Modularna struktura *AVL-Cruisea* omogućava modeliranje svih postojećih i budućih koncepcija vozila.

Također se koristi u razvoju novih koncepata vozila, kod analize standardnih i novih mjenjačkih sustava, kod analize vibracija sustava pod različitim opterećenjima, kod utjecaja topline na sustav vozila te za analizu protoka energije, prijenosa snage i gubitaka u elementima vozila [2].

2.2. Komponente za definiranje vozila

Za opis vozila koriste se sljedeće komponente:

- Vozilo i prikolica
- Motor (motor sa unutarnjim izgaranjem, električni motor)
- Spojka (tarna spojka, hidraulički pretvarač, visko-spojka)
- Upravljački elementi (mjenjač, spojka, kočnica, CVT i kontrola isključivanja motora)
- Osovine (krute i elastične)
- Prirubnica
- Kotači
- Električne komponente (generator, akumulator, baterija)
- Ispušni sustav
- Kabina
- Monitor
- *BlackBox* (kosisti se za algoritme koje je korisnik sam napravio), *MatLab*

Kod modeliranja vozila, korisnik sam slaže komponente u odgovarajuću shemu te potom unosi podatke potrebne za definiranje vozila.

Ovisno o željenoj točnosti rezultata, moguće je unijeti manji ili veći broj podataka što može smanjiti ili povećati složenost cjelokupnog modela [2].

2.3. Kompatibilna sučelja

Ukoliko komponente koje se nalaze u programu *AVL-Cruise* ne mogu zadovoljiti sve zadane uvjete, postoji mogućnost integracije sa nekim drugim programima kao što su primjerice *MatLab DLL*, *MatLab API*, *FlowMaster* i *KULI*.

Program *FlowMaster* omogućava korisniku integraciju toplinskih ili fluidnih mreža. Pomoću programa *MatLab* je omogućeno dinamičko učitavanje vanjskih funkcija tijekom trajanja proračuna.

KULI je softverski paket koji se koristi za simulaciju hlađenja motora i kod klimatizacijskih sustava. *AVL-Cruise* predstavlja prirodnu radnu okolinu za *KULI* modele [2].

Ostala programska sučelja koja podržava *AVL-Cruise* su:

- *AVL Exhaust System*
- *AVL PUMA*
- *AVL DRIVE Interface*
- *CarMaker*
- *ETAS Interface*
- *BlackBox Interface*
- *TruckMaker*
- *NI VERISTAND Interface*
- *dSPACE Interface*
- *CarSim Interface*

2.4. Proračunske mogućnosti

Za određivanje potrošnje goriva i emisije ispušnih plinova, koriste se dodatni standardni proračunski zadaci kroz koje vozilo prolazi da bi se dobili potpuni rezultati koje nije moguće dobiti samo analizom kroz standardni profil vožnje.

Standardni zadaci su:

- *Cycle Run* – cilj ovog zadatka je simulacija vožnje vozila po nekom standardnom ili vlastitom profilu vožnje da bi se dobile vrijednosti potrošnje goriva te emisije ispušnih plinova
- *Climbing performance* – zadatak je namijenjen izračunu najvećeg uspona koje vozilo može savladati, pri čemu se prati u kojem se stupnju prijenosa nalazi, kolika je brzina vrtnje motora te kojom se brzinom vozilo kreće.
- *Constant Drive* – zadatak koji uglavnom služi za izračun potrošnje goriva i emisije ispušnih plinova pri konstantnoj brzini vožnje.
- *Maximum Traction Force* – zadatak se koristi za izračunavanje vučnog dijagrama ili samo za izračunavanje najveće vučne sile.
- *Cruising* – cilj ovog zadatka je izračunavanje potrošnje goriva i emisije ispušnih plinova za definirani put, na primjer, između dva grada gdje se mogu ograničiti brzine na različitim usponima.

- *Full and Partial Acceleration* – ovaj zadatak se koristi za izračunavanje najveće brzine vozila u svim stupnjevima prijenosa, za izračunavanje ubrzanja vozila iz stanja mirovanja za svaki stupanj prijenosa te za izračunavanje elastičnosti vozila kod zadane brzine vozila i zadanog stupnja prijenosa sa mogućnošću prebacivanja ili bez.
- *Brake/Coast/Thrust* – zadatak za izračunavanje zaustavnog puta vozila na tri načina: kočenje kočnicom, kočenje otporima vožnje ili kočenje motorom [2].

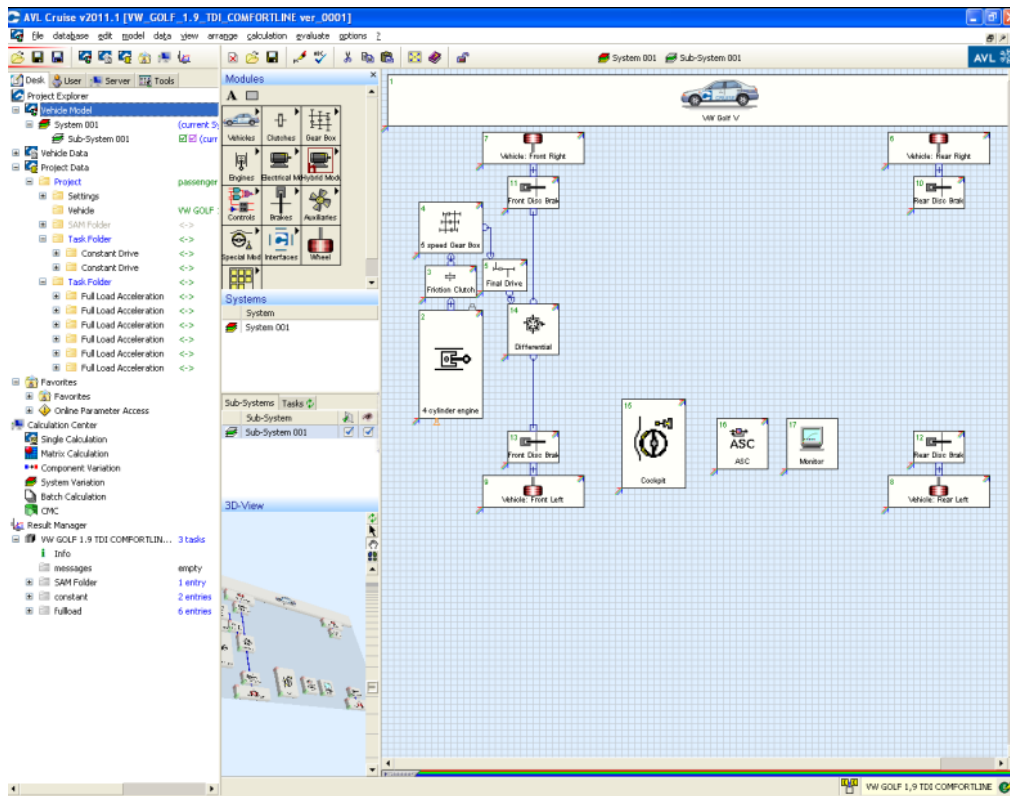
2.5. Modeli proračunavanja

U AVL-Cruiseu dostupni su sljedeći modeli proračunavanja:

- *Stationary Computation* – kod stacionarnog proračunavanja, sva ubrzanja u pogonskom sustavu su jednaka nuli. Željene karakteristične varijable modela se proračunavaju postupno za svaku brzinu.
- *Quasi-stationary Computation* – kao i kod stacionarnog načina proračunavanja, željene karakteristične varijable modela se proračunavaju postupno za svaku brzinu. Razlika je u tome što su ubrzanja dozvoljena, ali moraju biti vezana za konstantnu vrijednost. Pomoću ovakvog načina proračunavanja, moguće je proračunati zadatke kao što je vožnja po standardnom ciklusu ili ubrzanje pod punim opterećenjem.
- *Simulation* – za razliku od kvazi-stacionarnog proračuna, simulacija dozvoljava modeliranje stvarnog ponašanja, ako je sveukupni model pravilno usklađen. Kod simulacije stvarnih voznih zadataka vozač (u programu modeliran kao *Driver Module*) se ponaša kao kontrolor [2].

2.6. Korisničko sučelje

Glavni prozor *AVL-Cruisea* se sastoji od dva dijela: navigacijskog okvira i aplikacijskog okvira. U navigacijskom okviru se nalazi navigacijsko stablo koje olakšava kretanje po izborniku. U aplikacijskom okviru su prikazane aplikacije. Kada se u prvom okviru odabere neki objekt, isti se prikaže u aplikacijskom okviru. Poddirektoriji u aplikacijskom stablu se mogu odabrati klikom na znak „+“ koji se nalazi ispred objekta.



Slika 2.1. Prikaz korisničkog sučelja [1]

Navigacijski okvir se sastoji od 4 područja:

- *Desk Area* – sastoji se od 3 podizbornika pomoću kojih se dolazi do modela vozila, podataka o vozilu, podataka o projektu, proračunskog centra gdje se biraju opcije vezane za proračun modela te do upravljanja rezultatima.
- *User Area* – ovdje se vidi hijerarhijska raspodjela svih projekata u programu te rezultati tih projekata ukoliko su izračunati
- *Server Area* – ovdje se također može vidjeti raspored projekata u programu
- *Tools Area* – u ovom izborniku je moguće po potrebi izabrati neke dodatne aplikacije

Između navigacijskog i aplikacijskog okvira nalazi se okvir u kojemu su prikazane komponente modela koje je moguće izabrati. Ispod toga je prikaz sistema i njegovih podsistema a na kraju je prozor u kojem je omogućen trodimenzionalni prikaz modela.

3. Pokretanje projekta

U korisničkom sučelju se odabere mapa gdje se nalaze svi projekti te se pomoću desne tipke miša odabere opcija za pokretanje novog projekta. Potrebno je unijeti naziv novog projekta i potvrditi svoj unos. Nakon toga se ime novog projekta pojavi u popisu svih projekata.

Nakon što je pokrenut novi projekt, potrebno je desnom tipkom miša kliknuti na njegovo ime i odabrati opciju za izradu nove verzije. Za naziv verzije je moguće unijeti vlastiti odabir ili koristiti već zadani naziv koji je potrebno samo potvrditi.

Sada kada je pokrenut novi projekt i nova verzija projekta potrebno je desnom tipkom miša na mapu nove verzije odabrati opciju spremanja projekta. Na taj način su formirani svi dosjei i poddirektoriji potrebni za upravljanje projektom.

3.1. *Tijek rada*

Tijek rada prati sljedeće korake:

- Izrada modela vozila
- Unos podataka u komponente modela
- Energetske poveznice
- Informacijske poveznice
- Izrada mapa za zadatke i zadavanje zadataka
- Postavljanje proračuna
- Pokretanje proračuna
- Pregled i ocjena rezultata

Potrebno je pridržavati se zadanog tijeka rada jer u suprotnom ne bi bilo moguće pokrenuti program zbog nedostatka podataka. Provjera svih potrebnih podataka je moguća za svaku komponentu zasebno ili na kraju kod pokretanja proračuna za cjelokupni model.




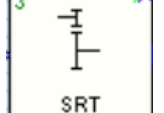









3.2. *Izrada modela vozila*

U ovome radu cilj je bio simulirati vožnju vozila u standardnim ciklusima vožnje da bi se na kraju dobili rezultati o potrošnji goriva i o emisiji CO₂. Za model vozila je odabran hibridni minibus sa paralelnom pogonskom konfiguracijom, što znači da se za pogon koristi i elektromotor i motor sa unutarnjim izgaranjem.

Komponente za izradu modela vozila se postavljaju tako da se odabere odgovarajuća grupa komponenti te se lijevom tipkom miša odabere željena komponenta te se ista pomoću miša povuče u područje modela vozila.

Vozilo hibridni minibus se sastoji od sljedećih komponenti:

Tablica 3.1. Popis komponenti sustava vozila [3]

Komponente	simbol
Vozilo	 Hibridni minibus
Motor s unutarnjim izgaranjem	 redni 4-cilindrični
Elektromotor	 Elektromotor
Jednostupanjski (osovinski) prijenosnik	 SRT
Kotač – 4 kotača	 Vehicle: Front Right
Kočnice – 4 kočnice	 Prednja desna
Diferencijalni prijenosnik	 Diferencijal
Generator	 Generator
Baterija	 Baterija NiMH
Kabina	 Kokpit
Kontrola proklizavanja	 ASC ASC
MatLab kontrolor	 MatLab Controller
Monitor	 Monitor

3.2.1. Vozilo

Dvostrukim klikom lijeve tipke miša na komponentu otvaramo izbornik u kojem unosimo parametre za definiranje vozila.

Hibridni minibus ima ugrađen zračni ovjes pa mu se visina i udaljenost težišta od prednje osovine ne mijenja s promjenom opterećenja vozila.

Tablica 3.2. Parametri za definiranje vozila

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Volumen spremnika	m ³	0,05
Razlika temperatura usisni kanal-okolina	ΔK	0
Razlika tlakova usisni kanal-okolina	mbar	0
Međuosovinski razmak	mm	4715
Udaljenost težišta od prednje osovine	mm	2350
Visina težišta	mm	1100
Tlak zraka u gumama prednje osovine	bar	3,5
Tlak zraka u gumama stražnje osovine	bar	3,5
Težina praznog vozila	kg	4200
Najveća dopuštena težina vozila	kg	7000
Površina poprečnog presjeka vozila	m ²	4,64
Koeficijent otpora zraka	-	0,36

3.2.2. Motor s unutarnjim izgaranjem

Zadani motor s unutarnjim izgaranjem je četverocilindrični motor tvrtke Steyr tip M14 VTI sa radnim obujmom od 2100 cm³ i snage 110 kW pri 3800 1/min [4].

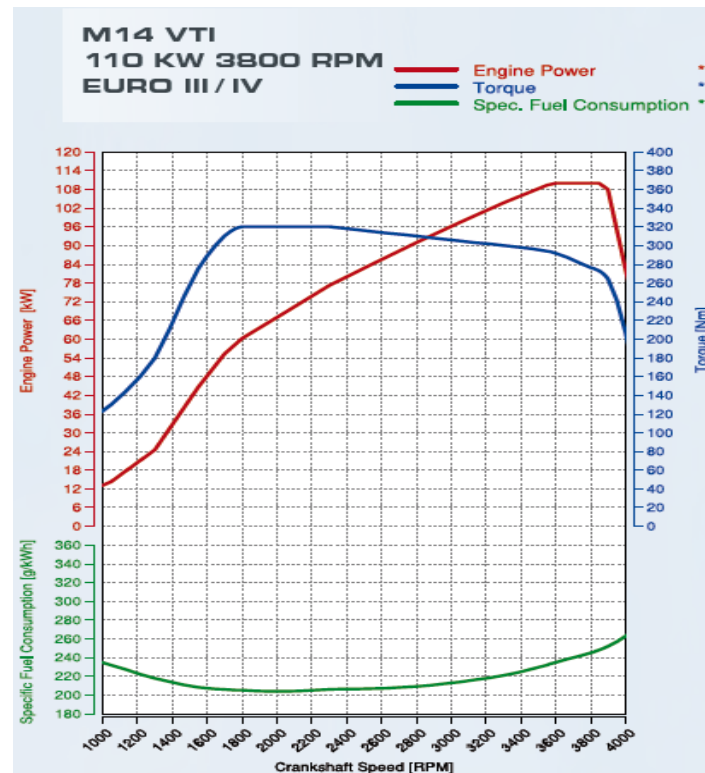
Postavke komponente:

- *Intended for Calculation of:* - Performance, Consumption & CO₂ emission
- *Temperature Model:* - Deactivated
- *Motoring Curve Performance:* - Synthetic
- *Response Behavior Turbo Charger:* - Constant Boost Pressure Build-up Time

Tablica 3.3. Parametri za definiranje komponente motora

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Tip motora	-	<i>Diesel</i>
Prednabijanje	-	<i>TC with Intercooler</i>
Broj cilindara	-	4
Broj radnih taktova motora	-	4
Brzina vrtnje praznog hoda	1/min	1000
Najveća brzina vrtnje motora	1/min	4000
Radni volumen motora	cm ³	2100
Radna temperatura motora	°C	80
Moment tromosti rotirajućih masa motora	kgm ²	0,18
Vrijeme reakcije motora	s	0,1
Donja ogrjevna vrijednost goriva	kJ/kg	44800
Gustoća goriva	kg/m ³	0,845
Tlak zraka okoline	bar	1,013
Temperatura okoline	°C	20
Apsolutna vlažnost	kg/m ³	0,01
Vrijeme potrebno za postizanje maksimalne snage	s	150

- Vanjska karakteristika motora unosi se u kartici *Full Load Characteristic*



Slika 3.1. Dijagram vanjske karakteristike motora s unutarnjim izgaranjem [4]

S dijagrama su očitane vrijednosti snage motora za određene brzine vrtnje motora te se upisuju u tablicu unutar same programske aplikacije.

Tablica 3.4. Tablični prikaz vanjske karakteristike motora s unutarnjim izgaranjem

Brzina vrtnje motora [1/min]	Snaga motora [kW]
1000	14
1200	21
1400	32
1600	48
1800	60
2000	67
2200	74
2400	80
2600	85
2800	91
3000	96
3200	101
3400	106

Brzina vrtnje motora [1/min]	Snaga motora [kW]
3600	110
3800	110
4000	80

3.2.3. Elektromotor

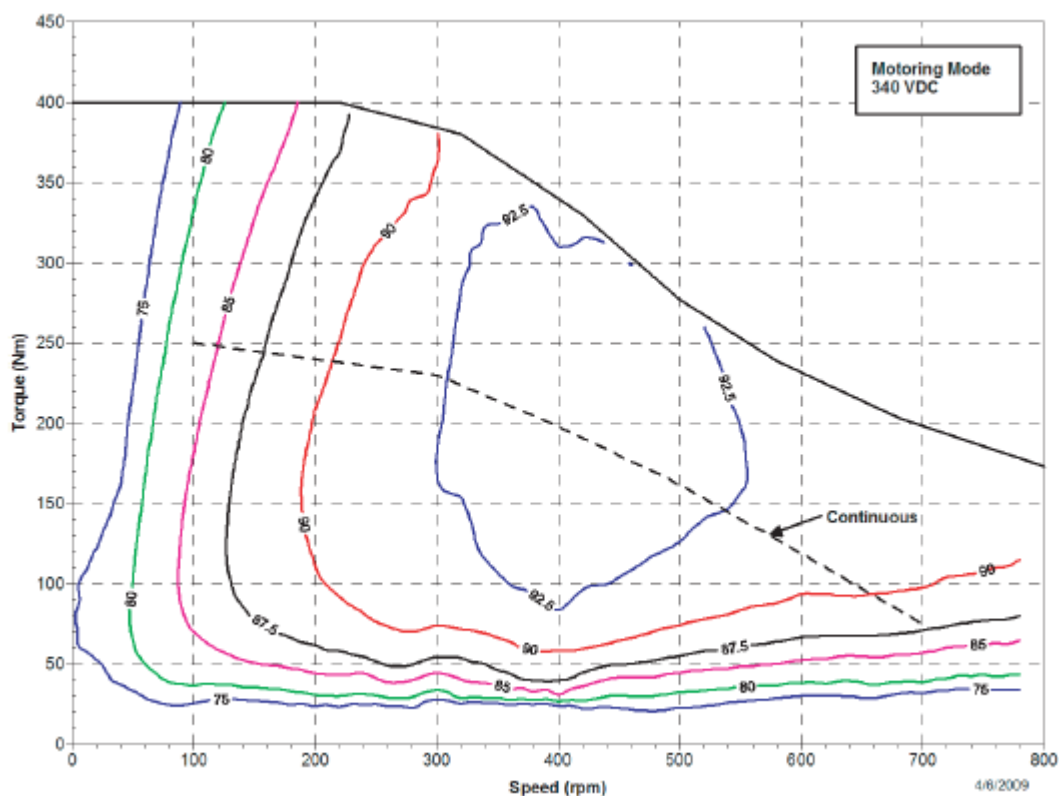
Odabrani elektromotor je *PowerPhase* 145 tvrtke *UQM* snage 85 kW pri brzini vrtnje od 5000 °/min.

Postavka za karakteristične mape i krivulje je povezana sa elektromotorom.

Tablica 3.5. Parametri za definiranje komponente elektromotora

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Tip motora	-	PSM
Nominalni napon	V	340
Inercijski moment	kgm ²	0,03
Maksimalna jakost struje - motor	A	120
Maksimalna jakost struje – generator	A	300
Najveća brzina vrtnje motora	1/min	8000
Masa elektromotora	kg	56,75
Polazna temperatura	°C	70
Maksimalna temperatura	°C	95
Specifični prijelaz topline	W/K	2250
Specifični toplinski kapacitet	J/kgK	430
Izlazna temperatura	°C	70

- Vanjska karakteristika elektromotora se unosi u kartici *Maximum Power (Torque) mechanical*



Slika 3.2. Dijagram momenta i efikasnosti elektromotora [5]

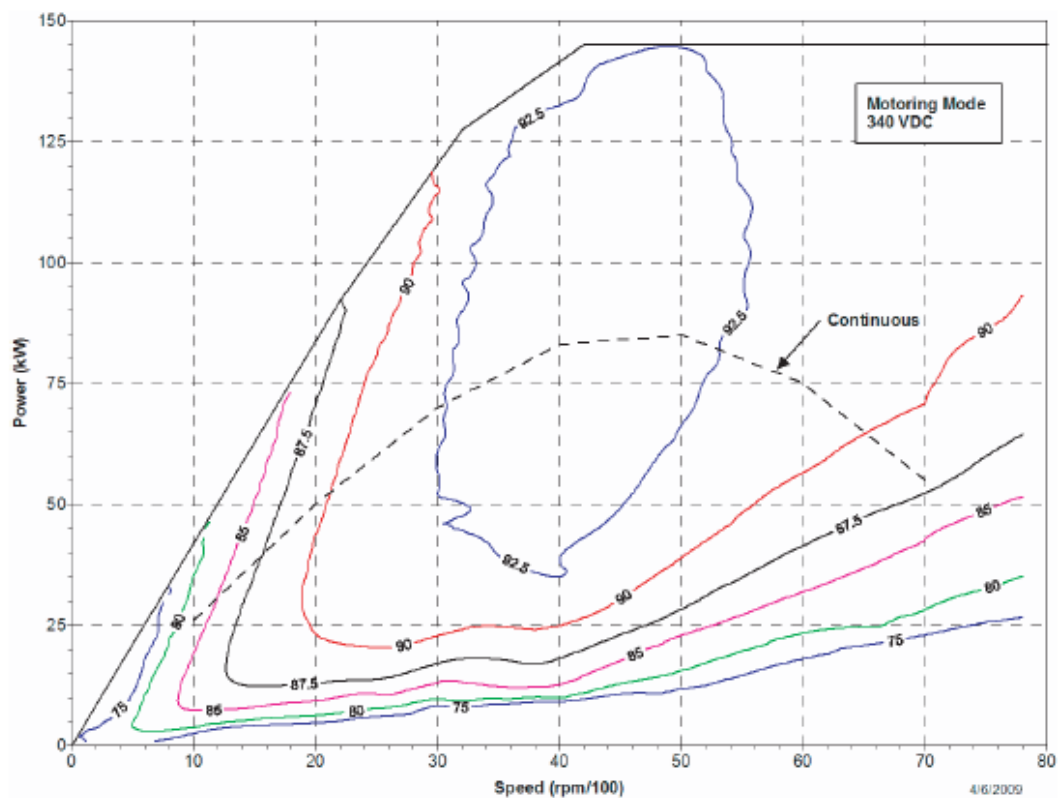
S dijagrama su očitane vrijednosti momenta elektromotora za određene brzine vrtnje elektromotora te se upisuju u tablicu unutar same programske aplikacije.

Tablica 3.6. Tablični prikaz vanjske karakteristike elektromotora

Brzina vrtnje motora [1/min]	Moment motora [Nm]
0	250
500	250
1000	250
1500	245
2000	240
2500	235
3000	228
3500	213
4000	197
4500	180
5000	161
5500	140

Brzina vrtnje motora [1/min]	Moment motora [Nm]
6000	118
6500	98
7000	75
7500	40
8000	0

- Efikasnost elektromotora se unosi u kartici *Efficiency*



Slika 3.3. Dijagram snage i efikasnosti elektromotora [5]

S dijagrama su očitane vrijednosti snage i efikasnosti elektromotora za određene brzine vrtnje elektromotora te se upisuju u tablicu unutar same programske aplikacije.

Tablica 3.7. Tablični prikaz efikasnosti elektromotora

Brzina vrtnje motora [1/min]	Snaga motora [kW]	Efikasnost motora [%]	Brzina vrtnje motora [1/min]	Snaga motora [kW]	Efikasnost motora [%]
500	3	80	3500	11,5	75
500	5	80	4000	12	80
500	11	75	4000	13,5	85
500	15	83	4000	19	87,5
1000	2,5	75	4000	25	90
1000	4	80	4000	35	92,5
1000	7	85	4000	83	93,5
1000	18	85	4000	12	75
1000	26	82,5	4500	14	80
1500	3	75	4500	18	85
1500	5	80	4500	23	87,5
1500	8	85	4500	31	90
1500	13	87,5	4500	49	92,5
1500	37	87,5	4500	84	94
1500	38	87	4500	13	75
2000	4	75	5000	16,5	80
2000	7	80	5000	24,5	85
2000	9	85	5000	28	87,5
2000	13	87,5	5000	38	90
2000	23	90	5000	67	92,5
2000	43	90	5000	85	93
2000	50	88,5	5000	16	75
2000	6	75	5500	20	80
2500	7,5	80	5500	27	85
2500	10	85	5500	35	87,5
2500	13,5	87,5	5500	48	90
2500	20	90	5500	80	92
2500	61	90,7	5500	18	75
2500	8	75	6000	24	80
3000	10	80	6000	35	85

Brzina vrtnje motora [1/min]	Snaga motora [kW]	Efikasnost motora [%]	Brzina vrtnje motora [1/min]	Snaga motora [kW]	Efikasnost motora [%]
3000	13	85	6000	43	87,5
3000	17	87,5	6000	57	90
3000	23	90	6000	75	91,25
3000	52	92,5	6000	22	75
3000	57	92,5	6500	25	80
3000	61	92,5	6500	37	85
3000	70	92,3	6500	47	87,5
3000	10	75	6500	63	90
3500	11	80	6500	65	90,2
3500	13	85	6500	23	75
3500	18	87,5	7000	33	80
3500	25	90	7000	43	85
3500	39	92,5	7000	53	87,5
3500	76	93	7000	55	88

3.2.4. Generator

Odabrani generator je *PowerPhase* 145 tvrtke *UQM* snage 85 kW pri brzini vrtnje od 5000 °/min.

Tablica 3.8. Parametri za definiranje komponente generatora

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Tip generatora	-	PSM
Nominalni napon	V	340
Inercijski moment	kgm ²	0,03
Maksimalna jakost struje – motor	A	120
Maksimalna jakost struje – generator	A	300
Najveća brzina vrtnje generatora	1/min	6500
Masa generatora	kg	32,7
Polazna temperatura	°C	70
Maksimalna temperatura	°C	95
Specifični prijelaz topline	W/K	2250
Specifični toplinski kapacitet	J/kgK	430

-
- The graph displays the power output of a generator in 340 VDC mode across a range of speeds and temperatures. The y-axis represents Power in kW, ranging from 0 to 150. The x-axis represents Speed in rpm/100, ranging from 0 to 80. A dashed line indicates the continuous operating region, which is bounded by a solid line at higher speeds. The graph shows that power output generally increases with speed and decreases with increasing temperature. The 'Continuous' region is defined by a dashed line that starts at approximately 10 rpm/100 and 10 kW, rises to about 40 rpm/100 and 80 kW, and then levels off at higher speeds.
- | Speed (rpm/100) | Power (kW) at 75°C | Power (kW) at 80°C | Power (kW) at 85°C | Power (kW) at 90°C | Power (kW) at 92.5°C | Power (kW) at 94°C | Power (kW) at 95°C | Power (kW) at 97.5°C |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 10 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 20 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 30 | 15 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 40 | 20 | 15 | 10 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 50 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | 0 | 0 |
| 60 | 60 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | 0 |
| 70 | 70 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 |
| 80 | 80 | 40 | 35 | 30 | 25 | 20 | 15 | 10 |

S dijagrama su očitane vrijednosti momenta generatora za određene brzine vrtnje generatora te se upisuju u tablicu unutar same programske aplikacije. U tablicu je potrebno unijeti sve kombinacije sa pozitivnim i negativnim predznacima jer programska aplikacija u slučaju generatora koristi podatke iz 4. kvadranta.

Brzina vrtnje generatora [1/min]	Snaga generatora [kW]
±0	±0
±500	±13,5
±1000	±22,5
±1500	±36
±2000	±47
±2500	±58
±3000	±66
±3500	±76
±4000	±80
±4500	±83,5
±5000	±85

Brzina vrtnje generatora [1/min]	Snaga generatora [kW]
±5500	±83,5
±6000	±82
±6500	±80

- Efikasnost generatora se unosi u kartici *Efficiency*

S dijagrama su očitane vrijednosti snage i efikasnosti generatora za određene brzine vrtnje generatora te se upisuju u tablicu unutar same programske aplikacije. U tablicu je potrebno unijeti sve kombinacije sa pozitivnim i negativnim predznacima brzine vrtnje generatora i snage generatora jer programska aplikacija u slučaju generatora koristi podatke iz 4. kvadranta.

3.2.5. Baterija

Tablica 3.10. Parametri za definiranje komponente baterija

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Vrsta baterije	-	NiMH
Maksimalno punjenje	As	24000
Početak punjenja	%	58
Nominalni napon	V	7,2
Maksimalni napon	V	9
Minimalni napon	V	6
Broj redova ćelija	-	1
Broj ćelija po redu	-	40
Radna temperatura	K	25
Masa ćelije	kg	0,99792
Specifični toplinski kapacitet	J/kgK	800
Specifični prijenos topline	W/K	0,7
Unutarnji otpor prilikom punjenja	Ohm	0,0197
Unutarnji otpor prilikom pražnjenja	Ohm	0,0269

- Krivulje napona prilikom punjenja i pražnjenja baterije su jednake te će stoga biti prikazane u jednoj zajedničkoj tablici.

Tablica 3.11. Tablični prikaz krivulje napona kod punjenja i pražnjenja baterije

Stupanj napunjenosti baterije [%]	Vrijednosti napona [V]
0	7,23
10	7,4047
20	7,5106
30	7,5873
40	7,6459
50	7,6909
60	7,7294
70	7,7666
80	7,8078
90	7,9143
100	8,3645

3.2.6. Jednostupanjski osovinski prijenosnik

Tablica 3.12. Parametri za definiranje komponente jednostupanjski prijenosnik

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Prijenosni omjer	-	3,45
Moment tromosti pogonskog vratila i zupčanika	kgm ²	0,0015
Moment tromosti gonjenog vratila i zupčanika	kgm ²	0,0015

3.2.7. Diferencijal

Tablica 3.5. Parametri za definiranje komponente diferencijalni prijenosnik

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Zaključanost diferencijala	-	<i>unlocked</i>
Omjer izlaznih momenata	-	1
Moment tromosti ulaznog vratila	kgm ²	0,0033
Moment tromosti prvog izlaznog vratila	kgm ²	0,0033
Moment tromosti drugog izlaznog vratila	kgm ²	0,0033

3.2.8. Kotači

Sva četiri kotaču su jednaka pa se stoga parametri navedeni u tablici 4.7. odnose na sve kotače.

Tablica 3.14. Parametri za definiranje komponente kotač

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Moment tromosti kotača	kgm ²	1,73
Koeficijent trenja gume	-	0,95
Referentna sila kotača	N	10000
Korekcijski koeficijent sile kotača	-	0,02
Statički radijus kotača	mm	349,8
Dinamički radijus kotača	mm	365,6
Otpor kotrljanja	%	1,3

3.2.9. Kočnice

Odabrane su pneumatske kočnice od proizvođača *Wabco*, model *PAN 17* [6].

Sve četiri kočnice su jednake pa se stoga parametri navedeni u tablici 3.2.9. odnose na sve kočnice.

Tablica 3.15. Parametri za definiranje komponente kočnica

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Površina presjeka kočnog cilindra	mm ²	24000
Koeficijent trenja kočnica	-	0,25
Specifični faktor kočenja za disk kočnicu	-	1
Efektivni radijus kočenja	m	0,125
Iskoristivost	-	0,99
Moment tromosti	kgm ²	0,4

3.2.10. Monitor

Pomoću komponente *Monitor* možemo tijekom simulacije pratiti zadane veličine.

Tablica 3.16. Poveznice monitora sa Data Bus-om

Dana Bus Channel	Promatrana veličina	Jedinica
INPUT 0	Ubrzanje vozila	m/s ²
INPUT 1	Brzina vozila	km/h
INPUT 2	Prijeđeni put vozila	m
INPUT 3	Signal motora	-
INPUT 4	Brzinom vrtnje motora	1/min

3.2.11. Kabina vozila

Tablica 3.17. Parametri za definiranje komponente kabina vozila

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Način promjene stupnja prijenosa	-	<i>automatic</i>
Broj stupnjeva prijenosa za vožnju naprijed	-	1
Broj stupnjeva prijenosa za vožnju nazad	-	0
Najveća sila na papučici kočnice	N	100
Parametri u kartici <i>Acceleration Pedal Characteristic</i>		
Put papučice za ubrzavanje [%]	<i>Load Signal</i>	
0	0	
100	100	
Parametri u kartici <i>Brake Pedal Characteristic</i>		
Specifična sila na papučici kočnice [%]	Tlak u kočnici [bar]	
0	0	
100	180	

3.2.12. ASC – Anti Slip Control

Anti Slip Control – kontrola proklizavanja pogonskih kotača

Za tu komponentu nisu potrebni nikakvi parametri. ASC se regulira preko *Data Busa* sa kojim je povezan. Zadatak komponente je ne dopustiti proklizavanje kotača kada je u zadatku uključen model s proklizavanjem.

3.2.13. Planetarni mjenjač

Tablica 3.18. Parametri za definiranje komponente planetarni mjenjač

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Zaključanost mjenjača	-	<i>unlocked</i>
Prijenosni omjer	-	1
Inercijski moment planetarnog zupčanika	kgm ²	0,0015
Inercijski moment sunčanika	kgm ²	0,0015
Inercijski moment nosača planeta	kgm ²	0,0015

3.2.14. MatLab Controller

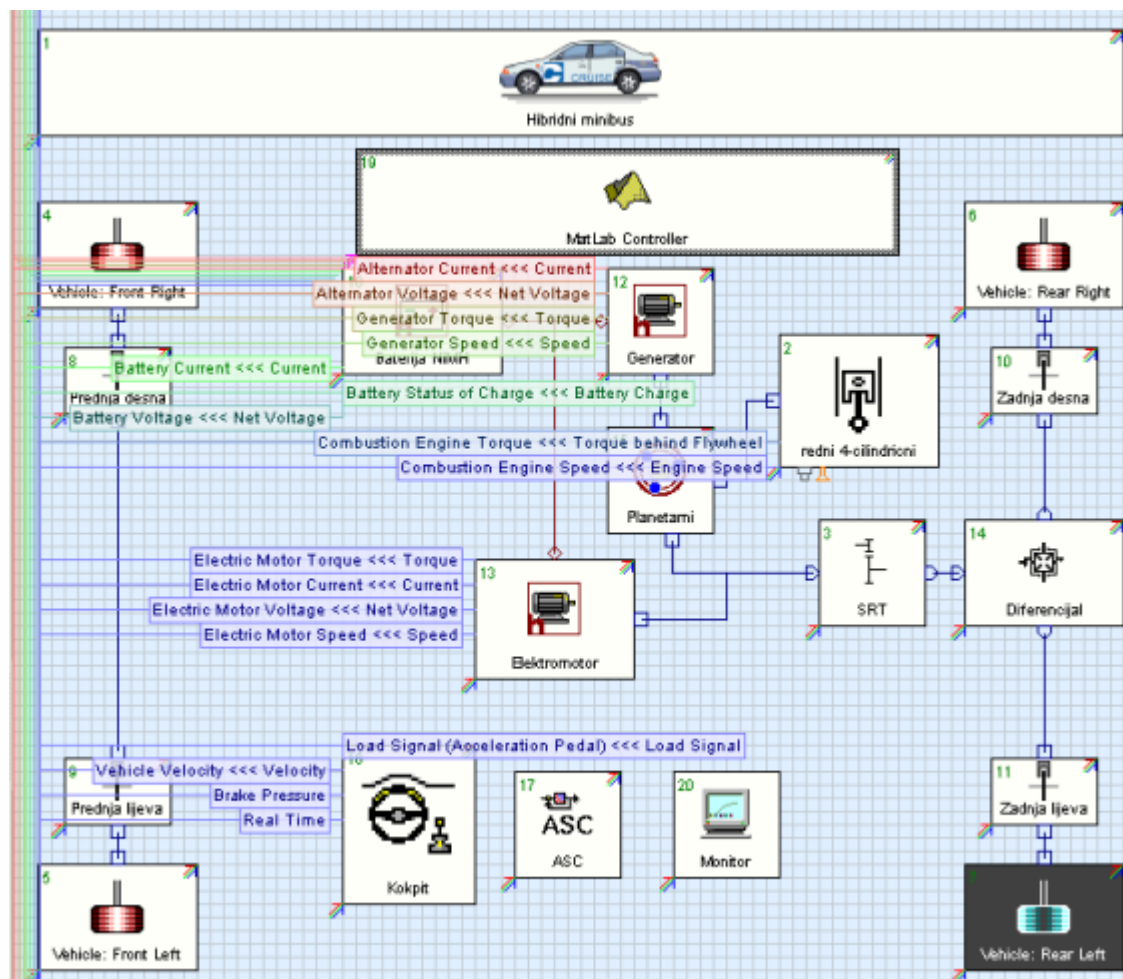
MatLab Controller je sučelje koje služi za upravljanje komponentama vozila.

Tablica 3.19. Poveznice MatLab Controller-a sa Data Bus-om

Dana Bus Channel	Opis
Import 0	<i>Load Signal (Acceleration Pedal)</i>
Import 1	<i>Vehicle Velocity</i>
Import 2	<i>Battery Status of Charge</i>
Import 3	<i>Combustion Engine Torque</i>
Import 4	<i>Generator Torque</i>
Import 5	<i>Generator Speed</i>
Import 6	<i>Electric Motor Speed</i>
Import 7	<i>Brake Pressure</i>
Import 8	<i>Electric Motor Torque</i>
Import 9	<i>Combustion Engine Speed</i>
Import 10	<i>Electric Motor Current</i>
Import 11	<i>Electric Motor Voltage</i>
Import 12	<i>Alternator Current</i>
Import 13	<i>Alternator Voltage</i>
Import 14	<i>Battery Current</i>
Import 15	<i>Battery Voltage</i>
Import 16	<i>Real Time</i>
Output 0	<i>Combustion Engine Load Signal</i>
Output 1	<i>Generator Load Signal</i>
Output 2	<i>Electric Motor Load Signal</i>
Output 3	<i>Combustion Engine Start Switch</i>

3.4. Informacijske poveznice

Informacija prema *Data Bus*-u je jedina informacijska poveznica. Informacijske poveznice se uspostavljaju pomoću strelice koja prikazuje tijek informacija. Primjer jedne takve poveznice je prikazan na Slici 3.4.



Slika 3.6. Prikaz informacijske poveznice MatLab Controllera sa ostalim komponentama

Tablica 3.6. Informacijske veze *Data Bus*-a

Zahtjev ... komponente	Ulazni podatak od...	Komponenta ... isporučuje	Izlaz informacije ...
Anti-Slip Control	<i>Load Signal</i>	<i>Cockpit</i>	<i>Load Signal</i>
	<i>Slip Signal Rear Left</i>	<i>Wheel - Vehicle: Rear Left</i>	<i>Slip Signal</i>
	<i>Slip Signal Rear Right</i>	<i>Wheel - Vehicle: Rear Right</i>	<i>Slip Signal</i>
<i>Brake</i>	<i>Brake Pressure</i>	<i>MatLab Controller</i>	<i>Vehicle Brake Pressure</i>
<i>Cockpit</i>	<i>Gear Indicator</i>	<i>Electric Machine -</i>	<i>Operation Control</i>

Zahtjev ... komponente	Ulazni podatak od...	Komponenta ... isporučuje	Izlaz informacije ...
		<i>Elektromotor</i>	
	<i>Operation Control 0</i>	<i>Engine – redni 4- cilindrični</i>	<i>Operation Contrl</i>
	<i>Operation Control 1</i>	<i>Electric Machine - Elektromotor</i>	<i>Operation Control</i>
	<i>Operation Control 2</i>	<i>Electric Machine - Generator</i>	<i>Operation Control</i>
	<i>Speed</i>	<i>Single Ratio Transmission</i>	<i>Input Speed</i>
<i>Electric Machine - Generator</i>	<i>Load Signal</i>	<i>MatLab Controller</i>	<i>Generator Load Signal</i>
	<i>Switch</i>	<i>MatLab Controller</i>	<i>Generator Switch</i>
<i>Electric Machine - Elektromotor</i>	<i>Load Signal</i>	<i>MatLab Controller</i>	<i>Electric Motor Load Signal</i>
	<i>Switch</i>	<i>MatLab Controller</i>	<i>Electric Motor Switch</i>
<i>Engine- redni 4- cilindrični</i>	<i>Load Signal</i>	<i>MatLab Controller</i>	<i>Combustion Engine Load Signal</i>
	<i>Start Switch</i>	<i>MatLab Controller</i>	<i>Combustio Engine Start Switch</i>
<i>MatLab Controller</i>	<i>Load Signal (Acceleration Pedal)</i>	<i>Cockpit</i>	<i>Load Signal</i>
	<i>Vehicle Velocity</i>	<i>Cockpit</i>	<i>Velocity</i>
	<i>Battery Status of Charge</i>	<i>Battery H</i>	<i>Battery Charge</i>
	<i>Combustion Engine Torque</i>	<i>Engine – redni 4- cilindrični</i>	<i>Torque Behind Flywheel</i>
	<i>Generator Torque</i>	<i>Electric Machine - Generator</i>	<i>Torque</i>
	<i>Generator Speed</i>	<i>Electric Machine - Generator</i>	<i>Speed</i>
	<i>Electric Motor Speed</i>	<i>Electric Machine - Elektromotor</i>	<i>Speed</i>
	<i>Brake pressure</i>	<i>Cockpit</i>	<i>Brake Pressure</i>
	<i>Electric Motor Torque</i>	<i>Electric Machine - Elektromotor</i>	<i>Torque</i>

Zahtjev ... komponente	Ulazni podatak od...	Komponenta ... isporučuje	Izlaz informacije ...
	<i>Combustion Engine Speed</i>	<i>Engine – redni 4-cilindrični</i>	<i>Engine Speed</i>
	<i>Electric Motor Current</i>	<i>Electric Machine - Elektromotor</i>	<i>Current</i>
	<i>Electric Motor Voltage</i>	<i>Electric Machine - Elektromotor</i>	<i>Net Voltage</i>
	<i>Alternator Current</i>	<i>Electric Machine - Generator</i>	<i>Current</i>
	<i>Alternator Voltage</i>	<i>Electric Machine - Generator</i>	<i>Net Voltage</i>
	<i>Battery Current</i>	<i>Battery H</i>	<i>Current</i>
	<i>Battery Voltage</i>	<i>Battery H</i>	<i>Net Voltage</i>
	<i>Real Time</i>	<i>Cockpit</i>	<i>Real Time</i>
<i>Monitor</i>	<i>Vehicle Acceleration</i>	<i>Vehicle – Hibridni Minibus</i>	<i>Acceleration</i>
	<i>Vehicle Velocity</i>	<i>Vehicle – Hibridni Minibus</i>	<i>Velocity</i>
	<i>Vehicle Distance</i>	<i>Vehicle – Hibridni Minibus</i>	<i>Distance</i>
	<i>Engine Load Signal</i>	<i>Engine – redni 4-cilindrični</i>	<i>Actual Load Signal</i>
	<i>Engine Speed</i>	<i>Engine – redni 4-cilindrični</i>	<i>Engine Speed</i>

4. Zadavanje zadataka komponentama

Svaki zadatak ima i komponente koje se mogu posebno definirati ili ih učitati iz baze podataka. Te komponente su:

- *Course*
- *Profil*
- *Driver*
- *Inertia weight class*
- *Measuring points*

4.1. Komponenta Course

Komponenta *Course* se može definirati proizvoljno sa željenim vrijednostima ili se mogu koristiti standardne postavke iz baze podataka. U ovom radu su učitane standardne vrijednosti.

Ova komponenta sadržava stanje okoline i vozne uvjete, kao funkciju puta ili vremena. U stanje okoline uvrštava se trenutni tlak, gustoća i temperatura zraka.

Tablica 4.1. Definiranje komponente *Course*

Parametar	Jedinica	Vrijednost
Ograničenje brzine	km/h	0
Uspon	%	0
Koeficijent trenja podloge	-	0
Brzina protuvjetrova	m/s	0
Temperatura okoliša	°C	20
Relativna vlažnost	%	0,65
Radijus zavoja	m	0

4.2. Komponenta Driver

Komponenta *Driver* se može definirati proizvoljno sa željenim vrijednostima ili se mogu koristiti standardne postavke iz baze podataka. U ovom radu su učitane standardne vrijednosti.

Zadatak komponente *Driver* je što je moguće bolje opisati stvarnog vozača. Ponašanje vozača može se definirati različitim ulaznim podacima. Korišteni podaci mogu se podijeliti u sljedeće skupine:

- Podaci za promjenu stupnja prijenosa
- Podaci za pokretanje vozila iz stanja mirovanja
- Podaci koji definiraju ponašanje vozača u vožnji

Tablica 4.2. Definiranje komponente *Driver*

Parametar	Jedinica	Vrijednost
<i>Driver</i>	-	Standardni vozač
Najveća sila kočenja	N	200
<i>Brake Pedal at Standstill</i>	%	30
Promjena stupnja prijenosa		
<i>Shifting Time</i>	s	2
<i>Acceleration Pedal On</i>	%	10
<i>Acceleration Pedal Off</i>	%	90
<i>Clutch Pedal Off</i>	%	60

4.3. Proračunski zadatak Cycle Run

Cycle run je zadatak za simulaciju vožnje vozila po određenom profilu vožnje. Ciklus vožnje se sastoji od brzine vozila u odnosu na vrijeme vožnje. Koristi se za procjenu potrošnje goriva i emisije ispušnih plinova vozila prema propisanoj metodi te tako omogućava usporedbu različitih vrsta vozila.

Postoje dvije vrste ciklusa vožnje: modalni i prijelazni. Glavna razlika između njih je ta što su modalni ciklusi kombinacija izravnih ubrzanja i razdoblja u kojima se vozi konstantnom brzinom te zbog toga ne predstavljaju stvarno ponašanje vozača. Za razliku od modalnih, prijelazni ciklusi vožnje uključuju promjene brzine vožnje vozila karakteristične stvarnim uvjetima vožnje.

Ciklusi definirani unutar programskog paketa *AVL-Cruise* su sljedeći:

- *UDC*
- *EUDC*
- *NEDC*
- *Artemis*
- *FTP-75*
- *US-SC03*
- *Ja 10-15*

Ciklusi vožnje *UDC*, *EUDC*, *NEDC*, *Artemis Urban Cycle*, *Artemis Rural Cycle* i *Artemis Highway Cycle* spadaju u europske cikluse vožnje, *FTP-75* i *US-SC03* pripadaju američkim ciklusima vožnje, a *Ja 10-15* pripada japanskom ciklusu vožnje.

Svi ciklusi vožnje definirani unutar programskog paketa *AVL-Cruise* spadaju u standardne cikluse vožnje s tim da je korisniku također omogućeno i kreiranje vlastitog ciklusa vožnje.

4.3.1. Opis ciklusa vožnje UDC

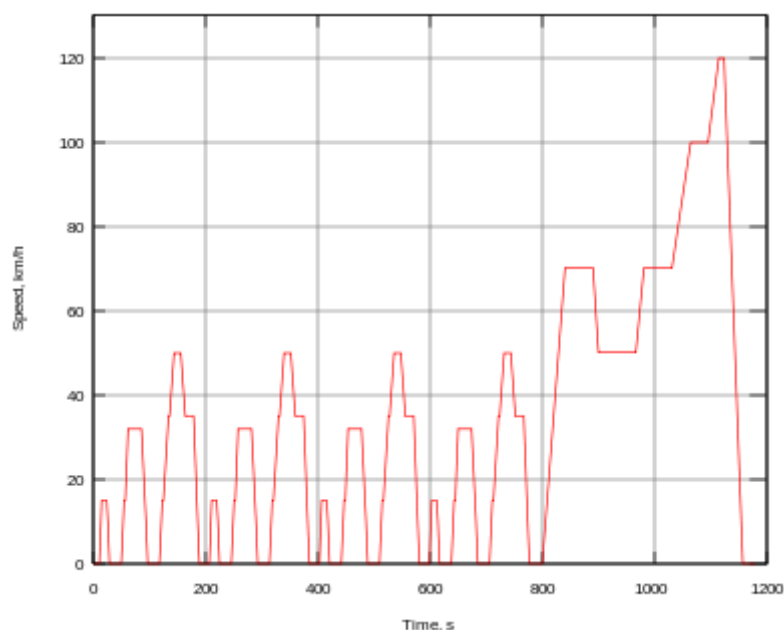
UDC je kratica za *Urban Driving Cycle*. Prvi put je predstavljen 1970. godine kao dio *ECE* pravilnika. *UDC* ciklus vožnje je osmišljen tako da predstavlja uobičajene uvjete vožnje u urbanim europskih gradova. Obilježava ga slabo opterećenje pogonskog motora, niska temperatura ispušnih plinova i maksimalna brzina vožnje od 50 km/h. Ukupno trajanje ciklusa je 780 sekundi sa četiri ponavljanja ciklusa od 195 sekundi, teoretski prijedene udaljenosti od 4067 metara s prosječnom brzinom od 18,77 km/h [7].

4.3.2. Opis ciklusa vožnje EUDC

EUDC je kratica za *Extra Urban Driving Cycle*. Predstavljen je 1990. godine kao dio *ECE* pravilnika, a osmišljen je tako da predstavlja agresivniji način vožnje uz veće brzine kretanja vozila. Najveća brzina koja se postiže u *EUDC* ciklusu vožnje iznosi 120 km/h. Vozilima manje snage je brzina vožnje ograničena na 90 km/h. Ukupno trajanje ciklusa *EUDC* iznosi 400 sekundi, a teoretski prijeđena udaljenost u tom vremenu iznosi 6956 metara uz prosječnu brzinu vožnje od 62,6 km/h [7].

4.3.3. Opis ciklusa vožnje NEDC

NEDC je kratica za *New European Driving Cycle*. Osmišljen je tako da predstavlja uobičajenu upotrebu vozila u Europi. Sastoji se od *UDC* ciklusa vožnje sa četiri ponavljanja i *EUDC* ciklusa vožnje. Ukupno trajanje ciklusa iznosi 1180 sekundi pri čemu vozilo prijeđe put od 11023 metra uz prosječnu brzinu vožnje od 33,6 km/h. *NEDC* ciklus vožnje ne predstavlja realne uvjete vožnje zbog jako sporih ubrzanja, puno intervala vožnje konstantnom brzinom te isto tako puno rada motora u praznom hodu. Zbog tih nedostataka se radi na osmišljavanju novog ciklusa vožnje koji će zamijeniti *NEDC* [7].



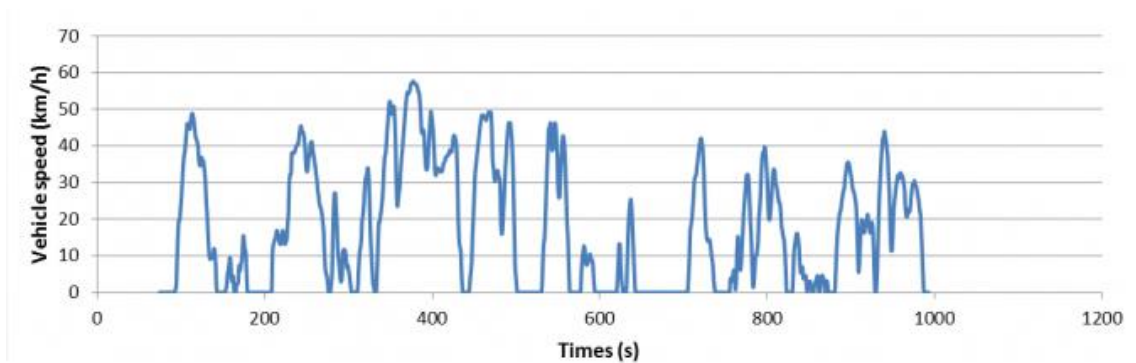
Slika 4.1. *NEDC* ciklus vožnje: *UDC* ciklus vožnje (od 0 s do 195 s) sa 4 ponavljanja i *EUDC* ciklus vožnje (od 780 s do 1180 s)[7]

4.3.4. Opis ciklusa vožnje Artemis

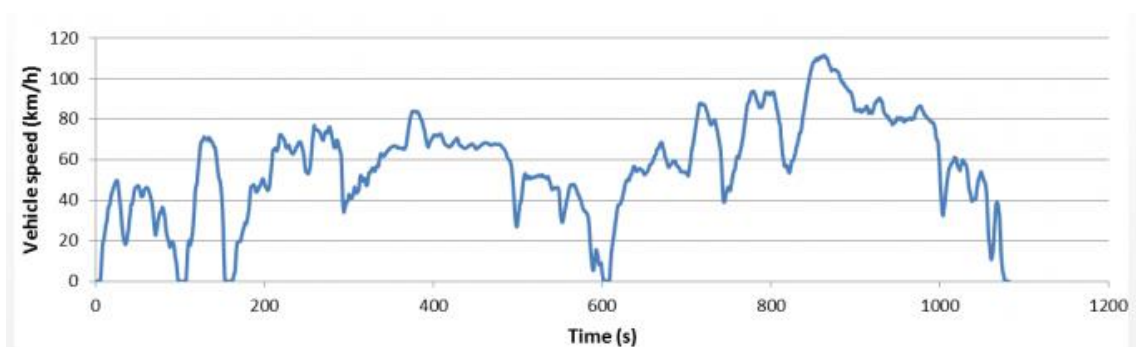
Ciklus vožnje *Artemis* je osmišljen na osnovi statističke studije provedene u Europi unutar *Artemis* projekta, po čemu je i dobio ime. Sastoji se od 3 različite konfiguracije plus jedna dodatna varijanta: *urban cycle*, *rural cycle*, *motorway 130 km/h* i *motorway 150 km/h*. Ne koristi se za certificiranje ispušnih plinova ili potrošnju goriva, ali ga proizvođači vozila koriste kako bi bolje razumjeli stvarne uvjete vožnje i kako bi predvidjeli stvarne karakteristike vozila koje proizvode [7].

Tablica 4.3. Glavna obilježja ciklusa vožnje *Artemis*

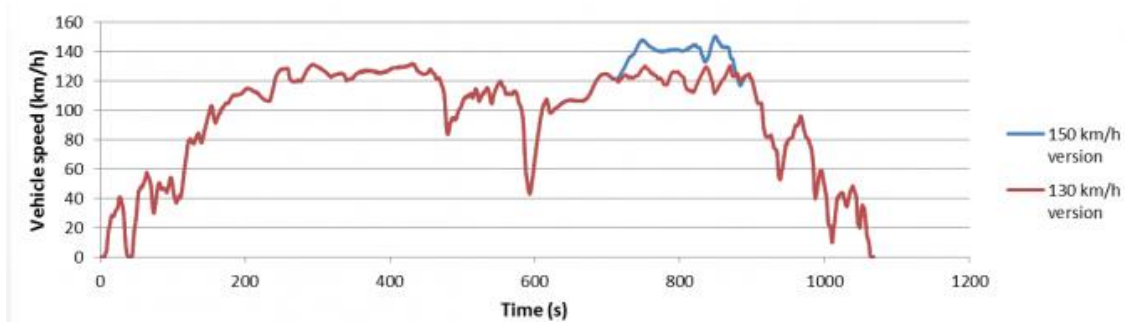
Parametar	<i>Urban</i>	<i>Rural</i>	<i>Motorway 150</i>	<i>Motorway 130</i>
Udaljenost [m]	4870	17272	29545	28735
Vrijeme [s]	993	1082	1068	1068
Prosječna brzina vožnje [km/h]	17,6	57,5	99,6	96,9



Slika 4.2. Urban *Artemis* ciklus vožnje [7]



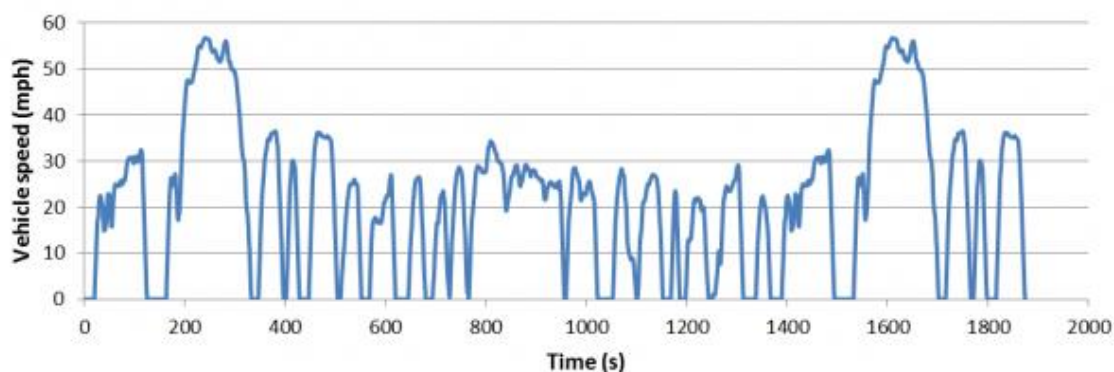
Slika 4.3. Rural *Artemis* ciklus vožnje [7]



Slika 4.4. Highway Artemis ciklus vožnje [7]

4.3.5. Opis ciklusa vožnje FTP-75

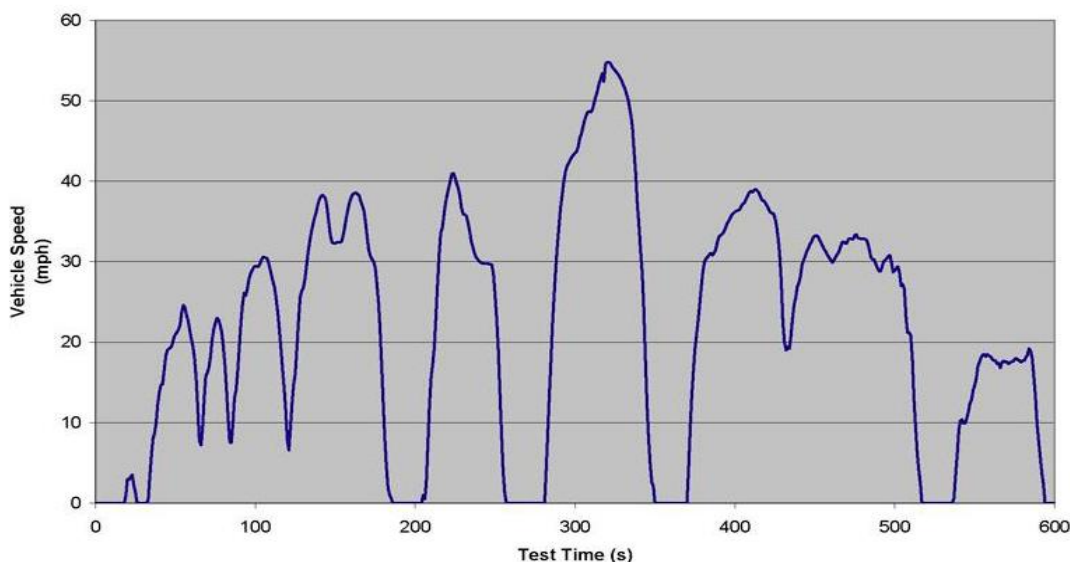
FTP-75 je američki ciklus vožnje, a kratica *FTP* predstavlja *for Federal Test procedure*. Ovaj ciklus je osmislila američka *Agencija za zaštitu okoliša*. *FTP-75* predstavlja ciklus vožnje koji se jednim dijelom sastoji od gradskog načina vožnje koji uključuje česta zaustavljanja i jednim dijelom od vožnje po autocesti. Ciklus ukupno traje 1874 sekunde, pri čemu vozilo prijeđe udaljenost od 17770 kilometara uz prosječnu brzinu vožnje od 34,1 km/h.



Slika 4.5. FTP-75 ciklus vožnje [7]

4.3.6. Opis ciklusa vožnje US-SC03

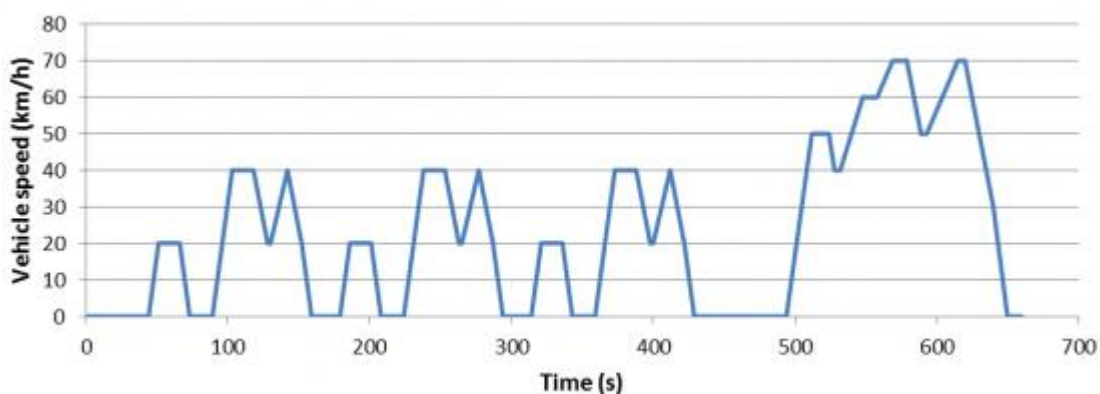
Ciklus vožnje *US-SC03* je američki ciklus vožnje nastao kao dodatak ciklusu *FTP-75* kako bi se što vjernije simulirala vožnja u uvjetima povišene vanjske temperature koja iznosi 35 °C. Potreba za uvođenjem ovog ciklusa vožnje je nastala kako bi se u proračun uzeo u obzir utjecaj rashladnog sustava vozila na emisiju štetnih plinova i potrošnju goriva vozila. Trajanje ciklusa je 596 sekundi, pri čemu vozilo prijeđe udaljenost od 5728 metara uz prosječnu brzinu vožnje od 34,48 km/h.



Slika 4.6. US-SC03 ciklus vožnje [8]

4.3.7. Opis ciklusa vožnje Ja 10-15

Ja 10-15 je ciklus vožnje koji u Japanu služi za certificiranje emisije štetnih plinova i potrošnje goriva vozila. Sastoji se od gradskog načina vožnje i od vožnje po autocesti, uključujući rad motora u praznom hodu, ubrzanja, vožnju konstantnom brzinom i smanjenja brzine. Trajanje ciklusa je 660 sekundi, pri čemu vozilo prijeđe udaljenost od 4160 kilometara uz prosječnu brzinu vožnje od 22,7 km/h.



Slika 4.7. Ja 10-15 ciklus vožnje [7]

4.3.8. Definiranje komponente Cycle Run

Simulacija rada hibridnog minibusa je provedena kroz 3 različita standardna ciklusa vožnje od kojih se jedan koristi u Europi, drugi u Sjedinjenim Američkim Državama, a treći u Japanu:

- *UDC_aut* (Europa)
- *US-SC03_aut* (SAD)
- *Ja 10-15_aut* (Japan)

Nastavak *_aut* u nazivima ciklusa predstavlja automatski mjenjač.

Parametri za definiranje svih ciklusa vožnje su jednaki, osim što se u kartici *Profile according to time* učitavaju različiti ciklusi vožnje.

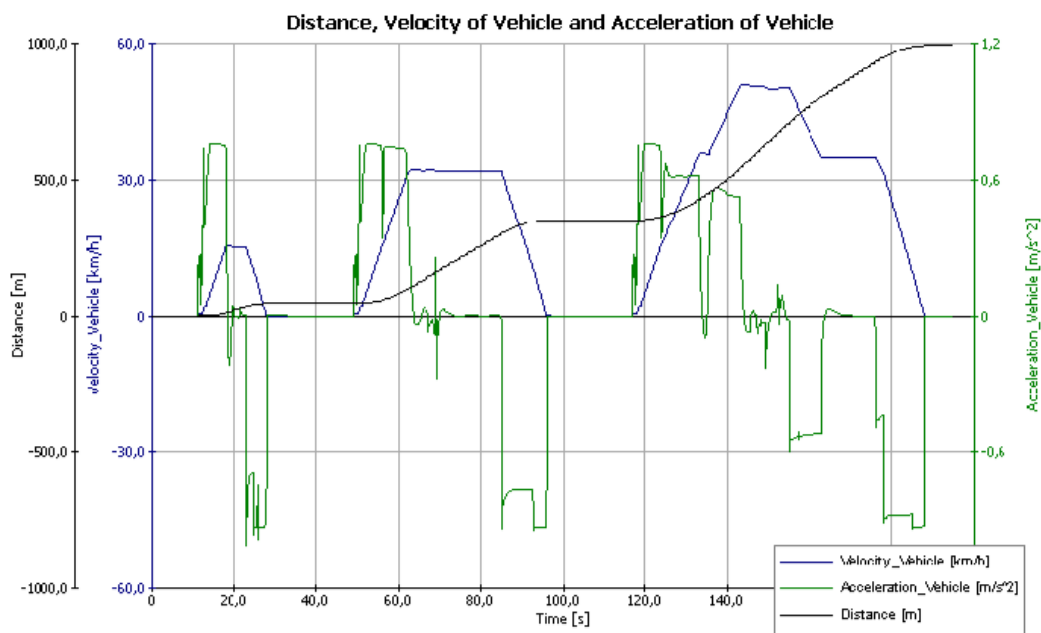
Tablica 4.4. Parametri za definiranje proračunskog zadatka Cycle run

Parametar	Vrijednost
Otpor vožnje	<i>Physical</i>
	<i>Hot Start – ready state</i>
	<i>Simulation 1: VSS Bulirsch/Stoer +</i>
	<i>Without Slip</i>
<i>Load State</i>	<i>half</i>
Parametri učitani iz baze podataka	
<i>Driver</i>	<i>Standardni vozač</i>
<i>Course</i>	<i>Standardni pravac</i>
<i>Profile according to time</i>	<i>UDC_aut/</i> <i>US-SC03_aut/</i> <i>Ja 10-15_aut</i>

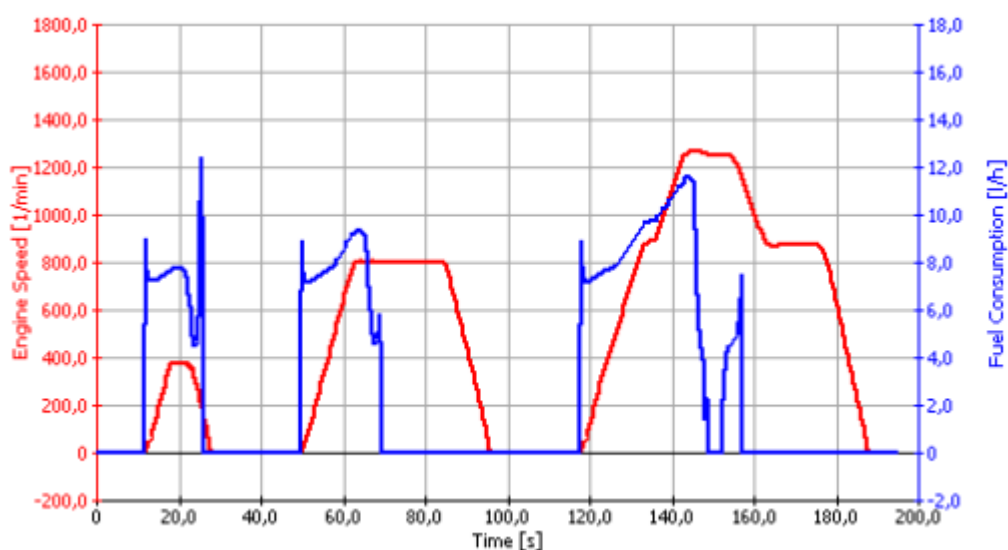
5. Rezultati

Nakon izrade modela minibusa s hibridnim pogonom, povezivanja komponenti mehaničkim i informacijskim vezama i zadavanja zadataka, klikom lijevom tipkom miša na opciju *Calculation center* potrebno je odabrati odgovarajući način proračuna. S obzirom da se ovdje radi o jednodimenzijskoj radnoj površini u kojoj nema varijacija komponenti, odabire se opcija *Single Calculation* u kojoj se pokreće proračun.

5.1. Rezultati za ciklus vožnje UDC_aut

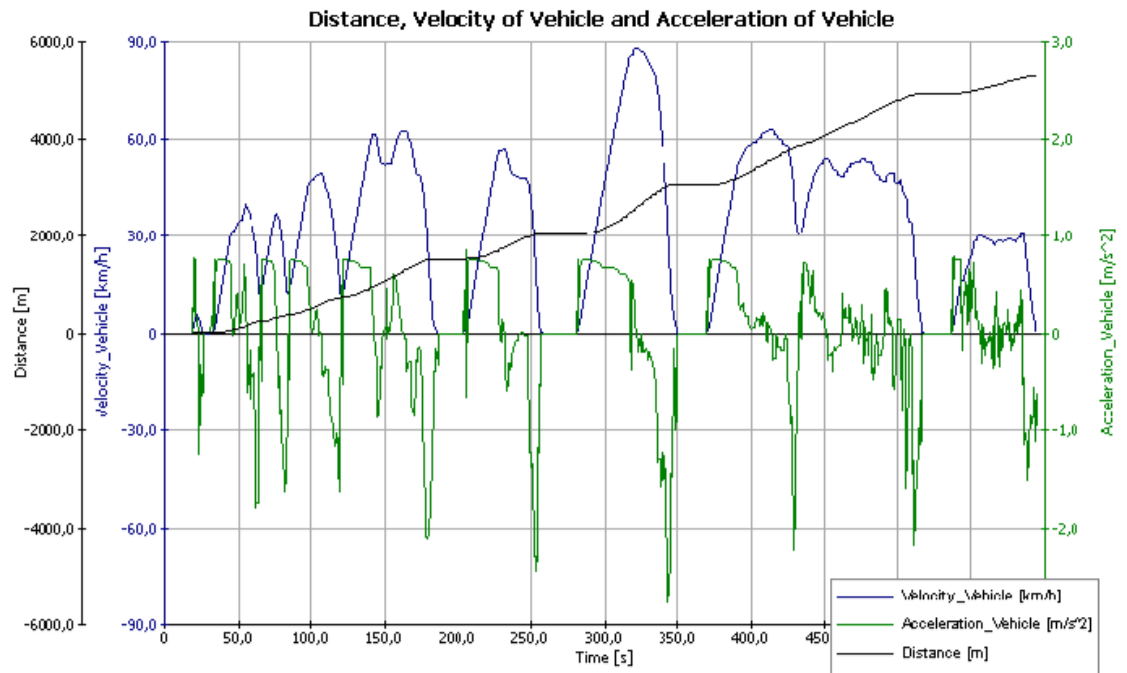


Slika 5.1. Ciklus vožnje minibusa po profilu UDC_aut

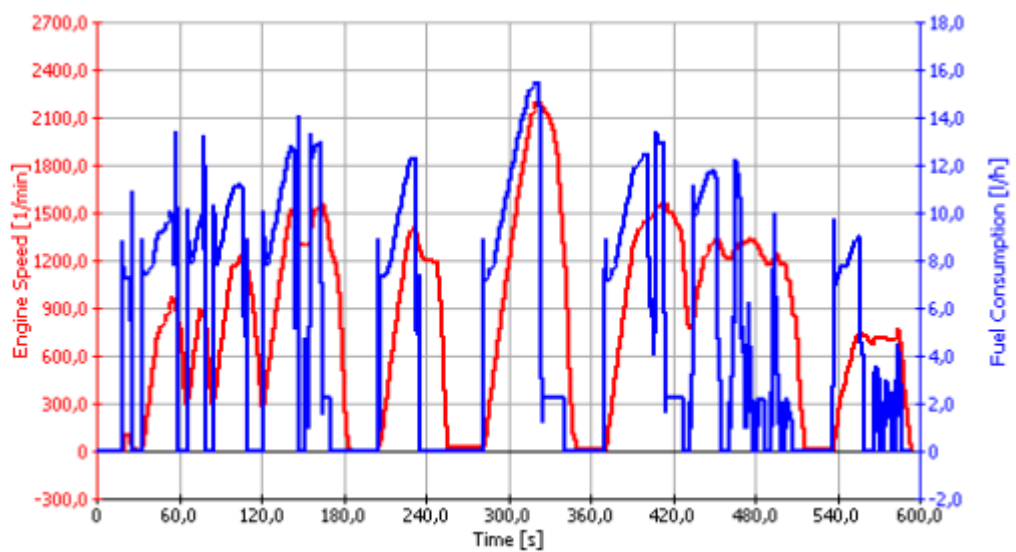


Slika 5.2. Dijagram brzine vrtnje motora i potrošnje goriva za vrijeme vožnje minibusa po profilu UDC_aut

5.2. Rezultati za ciklus vožnje US-SC03_aut

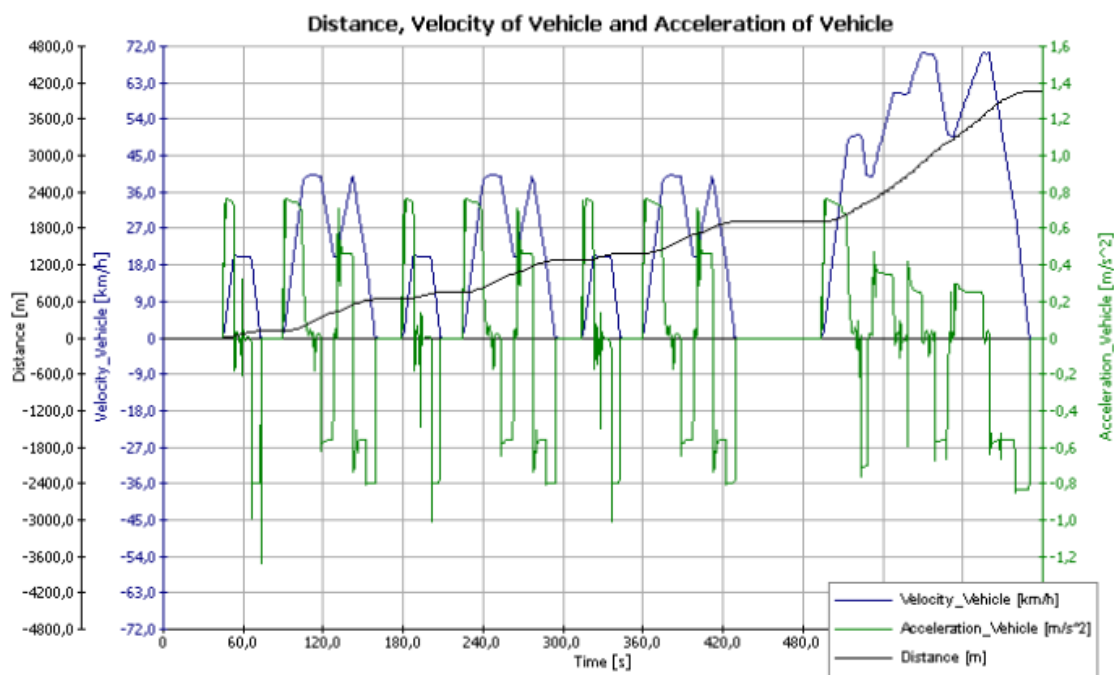


Slika 5.3. Ciklus vožnje minibusu po profilu US-SC03_aut

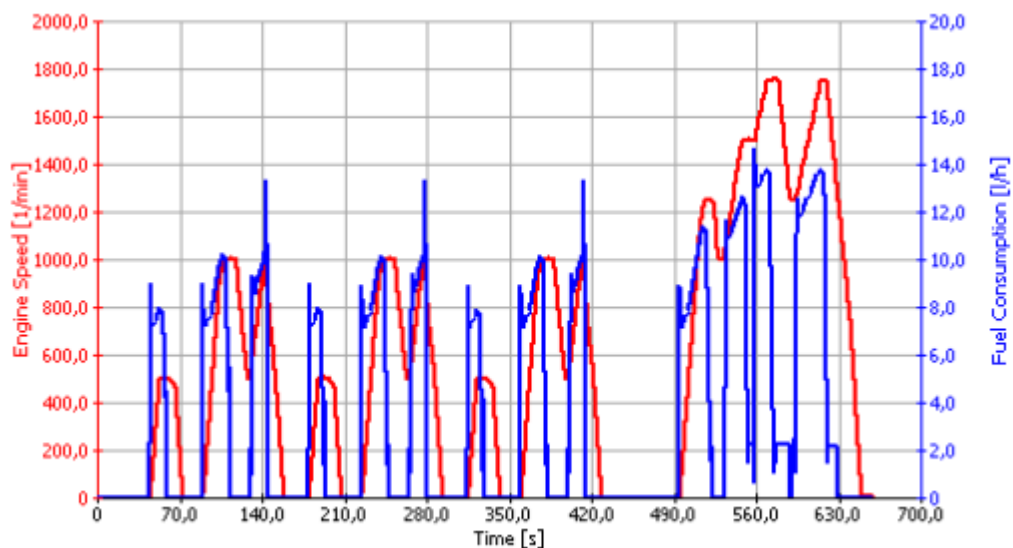


Slika 5.4. Dijagram brzine vrtnje motora i potrošnje goriva za vrijeme vožnje minibusu po profilu US-SC03_aut

5.3. Rezultati za ciklus vožnje Ja 10-15_aut

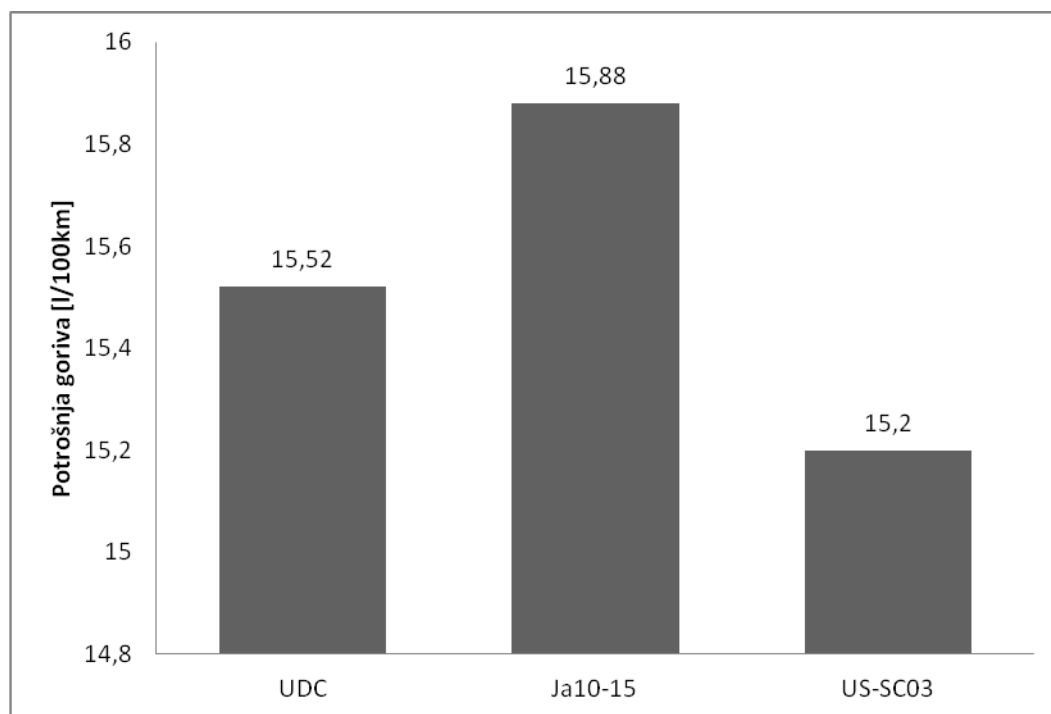


Slika 5.5. Ciklus vožnje minibusu po profilu Ja 10-15_aut

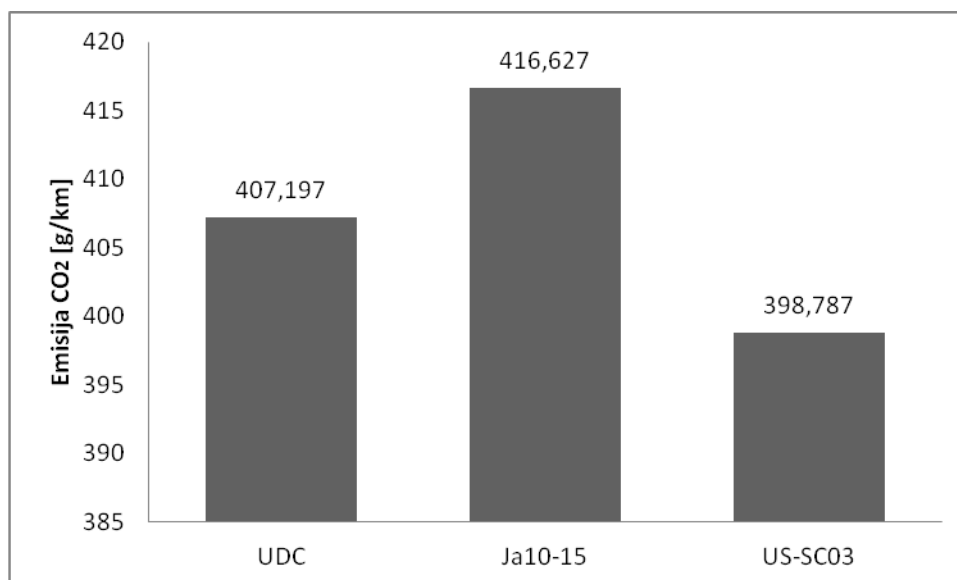


Slika 5.6. Dijagram brzine vrtnje motora i potrošnje goriva za vrijeme vožnje minibusu po profilu Ja 10-15_aut

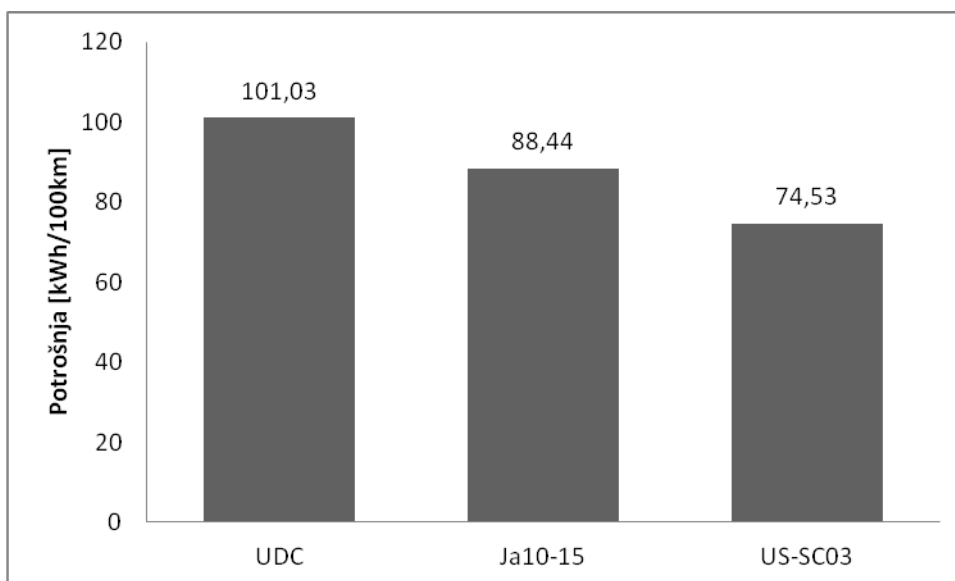
5.4. Usporedba rezultata



Slika 5.7. Usporedba potrošnje goriva kod simulacije u 3 različita ciklusa vožnje



Slika 5.8. Usporedba emisije CO₂ kod simulacije u tri različita ciklusa vožnje



Slika 5.9. Uporedba potrošnje električne energije kod simulacije u tri različita ciklusa vožnje

Iz prikazanih dijagrama je vidljivo da razlika u potrošnji goriva pri zadanim ciklusima vožnje nije velika, manje od 1 l/100km, dok je razlika u potrošnji energije izraženija i kreće se oko 25 % između najviše i najniže vrijednosti. Emisija CO₂ prati potrošnju goriva, tako da je kod ciklusa s najnižom potrošnjom goriva i najniža emisija CO₂.

6. Zaključak

Programska aplikacija *AVL-Cruise* je alat koji korisniku omogućava analizu modela vozila prije nego što je vozilo uopće izrađeno. Predstavlja jedan od prvih koraka kod koncipiranja i izrade novog vozila pružajući korisniku mogućnost provjere ponašanja vozila u različitim uvjetima vožnje i opterećenja u najranijim fazama razvoja. Prednost korištenja ove aplikacije je u tome što može donijeti značajne uštede vremena i sredstava te pomaže u optimiranju vozila i njegovih komponenti.

U ovom radu je objašnjeno funkcioniranje aplikacije i njezine mogućnosti na primjeru virtualnog vozila koje za pogon koristi paralelni hibridni sustav koji se sastoji od motora s unutarnjim izgaranjem i elektromotora. Prikazan je način na koji se modelira vozilo i njegove komponente te kako se te komponente međusobno povezuju. Kako je cilj rada bio dobiti rezultate vezane za potrošnju goriva i emisiju CO₂, vozilo je podvrgnuto različitim standardnim ciklusima vožnje koji su usput i opisani te prikazani pomoću dijagrama. Naposljetku su dobiveni rezultati za svaki ciklus vožnje koji su prikazani i međusobno uspoređeni. Kvalitetnom analizom rezultata se može vidjeti na koje promjene na vozilu bi trebalo utjecati kako bi rezultati bili još bolji.

Aplikacija *AVL-Cruise* se može koristiti kroz cijelo vrijeme razvoja vozila, a također se može koristiti i nakon proizvodnje kao alat za optimiranje vozila i njegovih komponentata. Za korištenje aplikacije je poželjno da je korisnik dobro upoznat sa komponentama vozila što uvelike olakšava modeliranje vozila i pravilno korištenje aplikacije.

7. Literatura

- [1] <https://www.avl.com/web/ast/cruise>
- [2] *AVL Cruise* – Korisnički priručnik
- [3] *AVL Cruise* – Primjer
- [4] <http://www.steyr-motors.com/>
- [5] <http://www.uqm.com/>
- [6] <https://www.wabco-auto.com/>
- [7] <http://www.car-engineer.com/>
- [8] <https://www.epa.gov/>